



УДК 621.313.17: 621.928

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКТОРОВ МОДУЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

CHARACTERISTICS OF ELECTRODYNAMIC SEPARATION INSTALLATIONS BASED ON LINEAR INDUCTORS OF MODULAR CONSTRUCTION

Кирпичникова Екатерина Сергеевна, студентка каф. «Электротехника и электротехнологические системы», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: katefin@bk.ru

Лутошкина Екатерина Андреевна, студентка каф. «Электротехника и электротехнологические системы», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: kattya1798@mail.ru

Решетникова Юлия Евгеньевна, студентка каф. «Электротехника и электротехнологические системы», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: Reshetj@mail.ru

Коняев Андрей Юрьевич, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электротехника и электротехнологические системы», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.u.konyaev@urfu.ru.

Ekaterina S. Kirpichnikova, student, Department of «Electrical engineering and electrotechnological systems», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: katefin@bk.ru

Ekaterina A. Lutoshkina, student, Department of «Electrical engineering and electrotechnological systems», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kattya1798@mail.ru

Julia E. Reshetnikova, student, Department of «Electrical engineering and electrotechnological systems», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: Reshetj@mail.ru.

Andrey Yu. Konyaev, Doctor Sc., Prof., Department of «Electrical engineering and electrotechnological systems», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.u.konyaev@urfu.ru

Аннотация: Рассмотрены пути повышения эффективности электродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем. Показаны преимущества сепараторов при модульной конструкции линейных индукторов.

Abstract: The ways of increasing the efficiency of electrodynamic separators with a traveling magnetic field are considered. The advantages of separators with the modular construction of linear inductors are shown.

Ключевые слова: твердые отходы; электродинамические сепараторы; модульная конструкция индуктора; результаты исследований.

Key words: solid waste; eddy-current separators; modular construction of linear inductors; research results.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование технологий и оборудования для сбора и обработки вторичных цветных металлов является необходимым условием для развития вторичной цветной металлургии и

создания предприятий по переработке твердых отходов. Одной из таких технологий является электродинамическая сепарация в бегущем магнитном поле. Например, широкое применение могут находить электродинамические сепараторы

на основе трехфазных линейных индукторов [1]: для извлечения цветных металлов из потоков твердых промышленных или коммунальных отходов, для сортировки дробленого лома электротехнических и электронных изделий, для очистки от металлов различных технологических смесей и др. Расширение применения таких сепараторов требует решения задач повышения эффективности их работы и снижения энергопотребления.

Одной из проблем сепараторов с бегущим магнитным полем является зависимость удельных электромагнитных усилий, действующих на частицы цветных металлов, от размера частиц. В частности, в случае алюминиевых частиц трудности, связанные с потерей работоспособности установок, начинаются при крупности менее 40 мм. Повышения эффективности работы сепараторов можно достичь двумя путями:

- увеличением электромагнитных усилий, действующих на извлекаемые частицы металлов, за счет выбора параметров линейных индукторов (например, повышения электромагнитных нагрузок, либо увеличения частоты токов и магнитного поля);
- снижением усилий, требуемых для извлечения частиц, путем конструктивных изменений в конструкции установки в целом.

Первый путь чаще всего сопровождается ростом мощности, потребляемой сепараторами из сети, что делает их менее конкурентоспособными. Более перспективным является второй путь, предполагающий системный подход к решению задачи, рассмотрение процессов сепарации с учетом совместного действия на частицы электромагнитных и конкурирующих с ними механических сил.

В настоящей работе рассматриваются некоторые способы снижения требуемых для сепарации извлекаемых металлических частиц электромагнитных усилий.

ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среди электродинамических сепараторов, в которых бегущее магнитное поле создается трехфазными линейными индукторами, наиболее распространенными являются сепараторы с индукторами располагаемыми под лентой конвейера, перемещающего обрабатываемые отходы, как показано на рис. 1. В ряде случаев линейные индукторы устанавливаются под наклонной плоскостью в местах перегрузки отходов. При этом, как правило, индукторы располагаются таким образом, чтобы извлекаемые частицы металлов выносились из потока отходов в поперечном направлении (рис. 1,а). Нетрудно видеть, что извлекаемая частица одновременно участвует в двух движениях: перемещается вместе с конвейером в направлении подачи и смещается в поперечном направлении под действием электромагнитных сил. В худшем случае частица должна преодолеть расстояние, равное ширине ленты конвейера за время, определяемое отношением ширины индуктора (размер в направлении подачи) к скорости конвейера. Очевидно, что в установках большой производительности, для которых характерны большая скорость подачи V_k (иногда более 1 м/с) и большая ширина ленты значения требуемых для извлечения усилий существенно возрастают, и эффективность сепарации снижается.

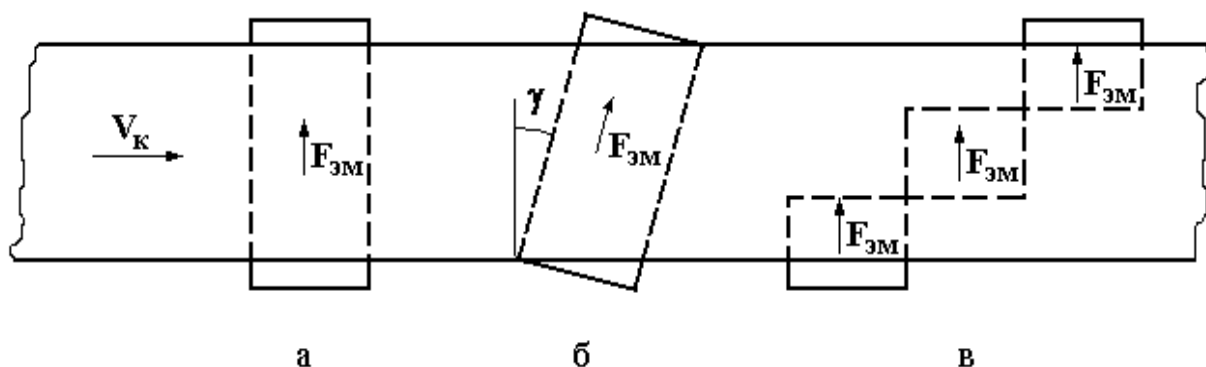


Рис. 1. Варианты конструкций линейных индукторов и их расположения под лентой конвейера, перемещающего отходы

Сказанное обуславливает необходимость поиска путей снижения удельных усилий, требуемых для сепарации. Простым решением задачи является увеличение ширины линейного индуктора. Однако при этом растет потребляемая сепаратором мощность (практически пропорционально росту ширины). Снижение требуемых усилий в таких сепараторах без роста мощности может быть достигнуто за счет поворота линейного индуктора относительно поперечной оси конвейера на угол γ в сторону движения потока, как показано на рис. 1, б.

Зависимости требуемых удельных усилий в зависимости от угла поворота индуктора при различных скоростях конвейера с шириной ленты 1200 мм представлены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что поворот индуктора может обеспечивать существенное снижение требуемого удельного усилия извлечения (особенно при больших скоростях подачи отходов). При скорости 1,0 м/с и угле поворота $\gamma = 60^\circ$ такое снижение составляет около 42%.

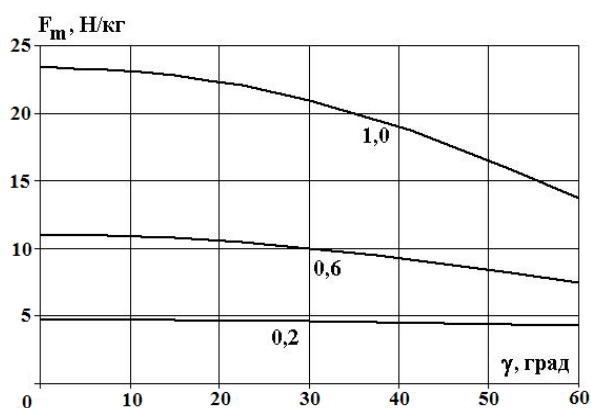


Рис. 2. Зависимости требуемого для сепарации усилия извлечения от угла поворота индуктора для ряда скоростей конвейера (цифры на графиках)

Стоит отметить, что при заданных соотношениях размеров индуктора и ширины ленты конвейера существует предельный угол поворота (такой случай показан на рис. 1, б). Дальнейший поворот индуктора должен сопровождаться увеличением его длины (увеличением числа пар полюсов индуктора), что нецелесообразно из-за соответствующего роста мощности, потребляемой сепаратором. Например, для рассмотренного случая при ширине ленты 1200 мм и длине линейного индуктора 1488 мм максимальный угол поворота составил $\gamma_{\max} = 25^\circ$, при котором эффект от поворота индуктора существенно меньше (около 7%).

Указанные трудности можно преодолеть при модульном исполнении индукторов. Вариант

линейного индуктора, состоящего из трех модулей, показан на рис. 1, в. Нетрудно видеть, что положительный эффект, подобный эффекту от увеличения «угла поворота» индуктора, достигается в данном случае за счет соответствующего смещения модулей. При этом эффект снижения требуемого усилия извлечения достигается без увеличения габаритов и потребляемой мощности линейных индукторов.

Модульное построение индуктора с количеством модулей, кратном трем, попутно позволяет решить задачу симметрирования фазных токов сепаратора. Вариант промышленного индуктора, взятый за базу для сравнения, имеет следующие характеристики [2,3]: полная потребляемая мощность индуктора – 112 кВА, коэффициент мощности – 0,05, фазные токи несимметричны (175 А, 170 А, 150 А; разброс токов -17%). Такая несимметрия фазных токов вызывает затруднения с компенсацией реактивной энергии установки. Для промышленного электродинамического сепаратора коэффициент мощности удалось поднять только до 0,15. При этом несимметрия фазных токов существенно увеличилась по сравнению с вариантом без компенсации (72 А, 74 А, 44 А; разброс токов – 68%).

При использовании транспозиции фаз путем их круговой перестановки на модулях индуктора удастся выровнять фазные токи индуктора, и, как следствие, обеспечить повышение коэффициента мощности установки до уровня 0,90-0,95, снизив мощность, потребляемую сепаратором из сети, до 10-15 кВА.

Дополнительным эффектом от симметрирования фазных токов индуктора становится увеличение электромагнитных усилий, действующих на извлекаемые металлические частицы. Для оценки такого эффекта были выполнены исследования лабораторного линейного индуктора (четырёхполюсный модуль мощностью до 500 ВА с полюсным делением 102 мм). Для индуктора без транспозиции фаз в экспериментах были получены токи, отличающиеся от симметричных как по модулю, так и по фазовому углу: 0,64 А (фазовый угол, принятый за базу, – 0°); 0,70 А (угол смещения – $143,25^\circ$) и 0,39 А (угол смещения – $253,31^\circ$). В варианте с транспозицией фаз достигнута симметрия фазных токов: 0,577 А (угол – 0°); 0,577 А (угол – 120°) и 0,577 А (угол – 240°). Полученные значения фазных токов были использованы при расчетах электромагнитных сил, действующих в линейном индукторе на пробную алюминиевую пластину с размерами $40 \times 40 \times 3$ мм, удаленную от поверхности индуктора на расстояние 3 мм. Кривые распределения удельного электромагнитного

усилия F_m по длине исследованного линейного индуктора показаны на рис. 3.

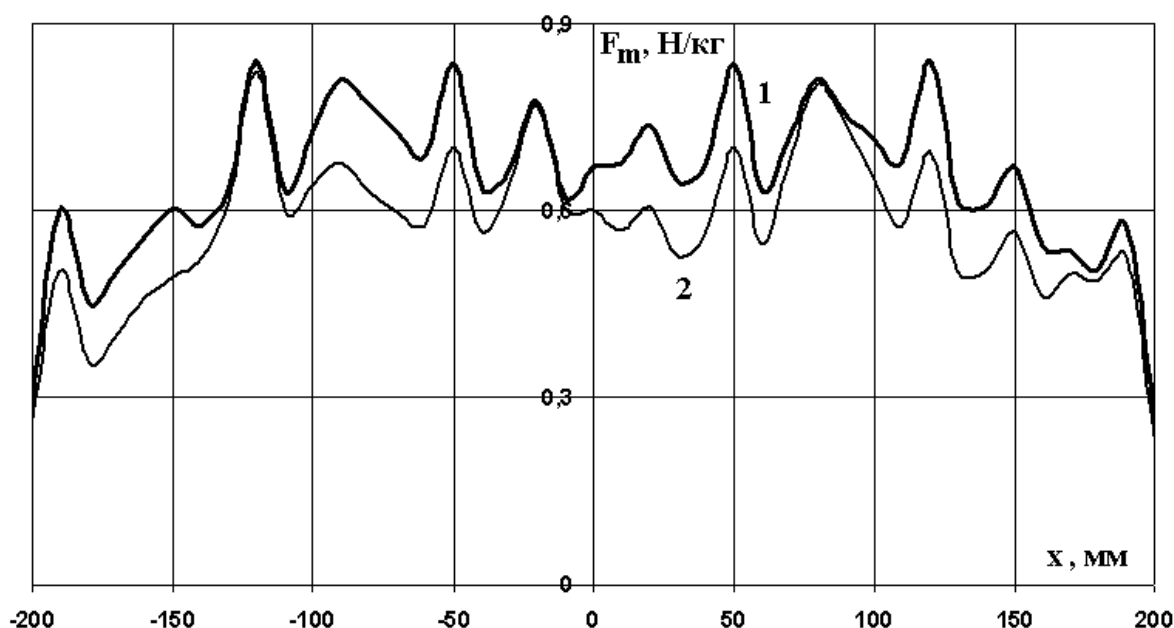


Рис. 3. Кривые распределения электромагнитных усилий по длине линейного индуктора при симметричных (1) и несимметричных (2) токах

Сравнение кривых на рис. 3 показывает, что симметрирование токов позволяет достичь увеличения электромагнитных усилий извлечения почти по всей длине индуктора. Средний рост усилия в данном случае составил 13,6 %.

ВЫВОДЫ

Таким образом, выполненные исследования показывают целесообразность применения модульной конструкции линейных индукторов. Применение такой конструкции с одной стороны позволяет создать сепаратор с меньшими значениями требуемых для извлечения частиц усилий, с другой – немного повысить развиваемые электромагнитные усилия при симметрировании токов фаз. Симметрирование фазных токов индуктора при модульном исполнении позволяет также эффективно компенсировать реактивную энергию индуктора и снизить энергопотребление установки в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем: основы теории и расчета / А.Ю. Коняев, И.А. Коняев, С.Л. Назаров, Н.Е. Маркин. – Екатеринбург: издательство УрФУ, 2012. 104 с.
2. Коняев А.Ю., Коняев И.А., Назаров С.Л. Повышение энергоэффективности электродинамических сепараторов на стадии проектирования // Промышленная энергетика, 2014, № 4, с. 22-26.
3. Устройства для электродинамической сепарации лома и отходов цветных металлов / А.А. Патрик, Н.Н. Мурахин, А.Ю.Коняев, Т.Н. Дерендяева, С.Л. Назаров // Промышленная энергетика, 2001, № 6, с. 16-19.